Шепелевич Николай, Иосифович, канд. техн. наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией РУП «Институт БелНИИС», г. Минск (Беларусь), участник разработки ГОСТ 6482-2011 и ГОСТ 20054-2012.

О ВЫБОРЕ МАТЕРИАЛА ТРУБ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ САМОТЕЧНЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Безнапорные трубопроводы широко используются в системах водоотведения и канализации крупных городов населенных пунктов. Им нет альтернативы, так как они не требуют значительных эксплуатационных затрат, (например, в сравнении с напорной канализацией). Основными технико-экономическими показателями данных сооружений являются: стоимость возведения; затраты на содержание и эксплуатационная надежность и долговечность и при их проектировании весьма не просто произвести выбор типа труб с учетом обеспечения эксплуатационной надежности.

Под эксплуатационной надежностью трубопровода понимают неизменность его пропускной и несущей способности, а под долговечностью – способность сохранять данные показатели в течение определенного срока службы. Эксплуатационная надежность и долговечность трубопровода определяется деформационно-прочностными характеристиками материала труб и их изменяемостью во времени. Долговечность же трубопроводов зависит как от условий эксплуатации (агрессивность среды, гидроабразивное воздействие стоков), так и от свойств материала труб (коррозионная стойкость, износостойкость и подверженность старению).

В СНиП 2.03-04-85 имеются только общие указания о необходимости выполнения вариантного проектирования данных объектов. Оптимальный вариант должен определяться наименьшей величиной приведенных затрат [1]. И хотя в нормах указано, что при определении надежности действия системы канализации необходимо учитывать, технологические, санитарно-гигиенические и водоохранные требования, однако в действующих нормативно-правовых актах нет соответствующих методик.

В настоящее время при прокладке самотечных канализационных коллекторов используются безнапорные трубы из различных материалов: железобетона; полиэтилена; поливинилхлорида (ПВХ), стеклопластика и др. Каждый вид труб обладает как определенными преимуществами, так и недостатками. Главным критерием при выборе материала труб для канализационного коллектора является стоимость его возведения, а вопросы эксплуатационной надежности и долговечности уходят на второй план или вообще не рассматриваются.

1. ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ

Согласно [1] гидравлический расчет безнапорного трубопровода выполняют на расчетный расход сточных вод $\boldsymbol{q}$(м^3/с) по формуле

$$q = \omega \cdot v \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{\omega}$ – площадь сечения, заполненного сточной водой, м^2;

$\boldsymbol{v}$ – скорость движения жидкости, м/с

На рисунке 1 представлены графики изменения расхода ***q*** и скорости ***v*** для труб с круговым пропускным отверстием в зависимости от степени их наполнения. На горизонтальной оси отложены относительные величины расхода ***q*** и скорости ***v***, в сравнении с соответствующим им значениям при максимальном наполнении трубы.

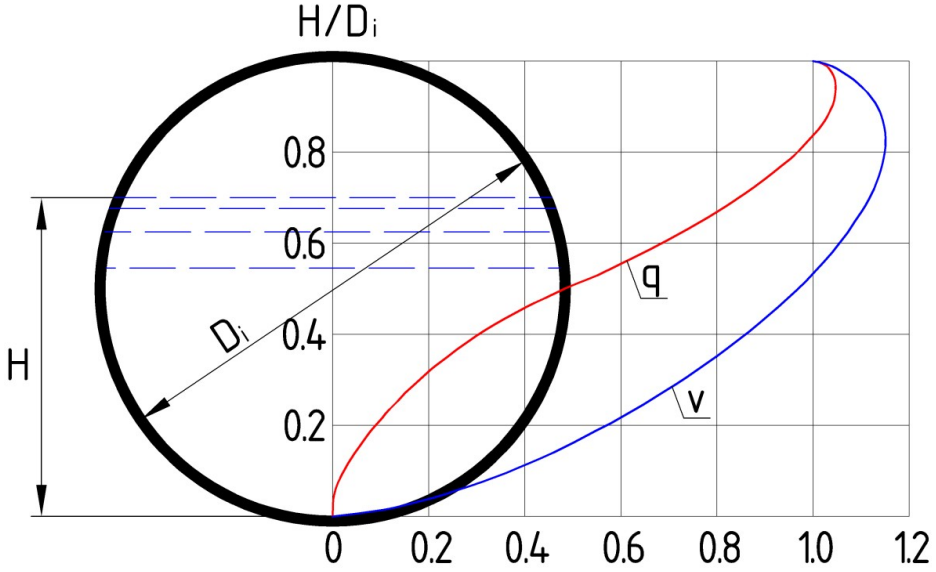

Рис.1. Зависимости расхода ***q*** и скорость ***v*** от степени наполнения трубы

Пропускная способность трубопровода существенно зависит от коэффициента шероховатости материала внутренней поверхности трубы ***n***. При гидравлическом расчете трубопроводов принимают усредненные значения ***n***: 0,014 - для бетонных труб; 0,01- 0,012 - для труб из пластмасс. При расчете пропускной способности безнапорных трубопроводов пользуются специальными таблицами гидравлических расчетов, в которых приведены значения расхода ***q*** и скорости сточных вод ***v*** в зависимости от уклона ***i*** и степени наполнения труб (например, таблицы А.А.Лукиных и Н.А.Лукиных. Гидравлические расчеты производят на расчетное и максимальное наполнение трубы, принимаемые равным, соответственно, 0,7 и 0,8 от наполнения **H**.

С учетом различных коэффициентов шероховатости расчетные значения пропускная способность труб из пластмасс на 20-25% выше, чем труб из бетона. Однако данные расчеты выполнены без учета овализации пропускного отверстия труб из пластмасс. Нормами проектирования допускается максимальное укорочение вертикального диаметра (овализация) трубы – 5% [5]. Однако, при несоблюдении правил укладки, а так же вследствие не достаточной точности расчетных методик, овализация пропускного отверстия труб составляет 7-8%, а иногда и более 10%. В результате существенно снижается пропускная способность труб из-за уменьшения, как площади пропускного отверстия и так и расчетной высоты сечения **H** (см. рис. 1). Расчеты показывают, что при овализации в 5% пропускная способность труб уменьшается на 6 %, а при овализации 10% уже на 17%.

Производители полимерных труб, представляют таблицы гидравлического расчета труб, в которых снижение пропускной способности трубопровода вследствие овализации труб не учитывается.

Существенным недостатком труб из полимерных материалов является подверженность данных трубопроводов всплытию (при высоком уровне грунтовых вод или паводках). Так как часть времени (например, ночью) данные коллекторы эксплуатируются при минимальном наполнении.

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ТРУБ

В актуализированной редакции СНиП 2.04.03-85 [1], вопросы несущей способности различных видов труб вообще не рассматривались. В п. 4.9 СНиП были перечислены лишь виды (железобетонные, чугунные, керамические, пластмассовые) труб, которые могут применяться при прокладке канализационных трубопроводов. В то время предполагалось, что на каждый вид труб имеется нормативно-техническая документация (ГОСТы и типовые серии), позволяющая их использовать при проектировании.

Для расчета несущей способности труб из пластмасс приняты методики СН 550-82 [4], согласно которых несущая способность безнапорного трубопровода оценивается по условию предельно-допустимой овализации сечения, величина которой составляет: 0,05 – для труб из полиэтилена, 0,04 – для труб из полипропилена и 0,035 –для труб из ПВХ.

Основным недостатком методики СН 550-82 [2] является то, что зависимость (2) получена из расчета кольцевого сечения трубы, т.е. по недеформируемой схеме. При этом результаты расчетов сильно зависят от модуля деформаций материала (чем ниже модуль, тем больше деформация).

В Российской Федерации расчет и проектирование трубопроводов из полимерных материалов производится по СП 40-102 [3]. Так, для определения относительного укорочения вертикального диаметра трубы от давления грунта используется зависимость (упрощенная):

$$\frac{K_\tau K_\omega q_{гр}}{0{,}15 G_o + 0{,}06\, E_{гр}} \le [\varepsilon ¿¿ \varphi] ¿; \qquad (1)$$

где, K_τ – ¿ коэффициент учитывающий дополнительную овализацию поперечного сечения трубы во времени ($1{,}0 \le K_\tau \le 1{,}5$);

K_ω – ¿ коэффициент прогиба ($0{,}09 \le K_\omega \le 0{,}13$);

$q_{гр}$ – вертикальное расчетное давление грунта;

G_o- кратковременная кольцевая жесткость трубы, МПа

$$G_o = 53{,}7\, \frac{E_o I}{\left(1-\mu^2\right)\left(D_e - s\right)^3} \qquad (2)$$

Анализ формулы (4) показывает, что основным фактором, влияющим на овализацию поперечного сечения трубы, является модуль деформаций грунта в пазухах траншеи ($E_{гр}$), который зависит от вида грунта засыпки и степени его уплотнения. Например в техническом описании на двухслойные гофрированные трубы типа «Корсис» для грунтов засыпки категории 1 (пески гравелистые, крупные и средней крупности) 1,7 МПа $\le E_{гр} \le$ 26 МПа, а для грунтов засыпки категории 2 (пески мелкие) – 0,04 МПа $\le E_{гр} \le$ 18 МПа, в зависимости от степени уплотнения. Показателен пример расчета трубы диаметром 1200 мм из ПНД с толщиной стенки 46,2 мм, уложенной в траншею на глубину $H_{тр}$ = 5 м (приведенный в СП 40-102). Приведем лишь окончательное

выражение вычисления относительной деформации вертикального диаметра от действия грунтовой нагрузки $q_{гр}$ = 0,09 кН/м^2.

$$\varepsilon = \frac{K_\tau K_\omega q_{гр}}{0{,}15 G_o + 0{,}06 E_{гр}} = \frac{1{,}25 \times 0{,}11 \times 0{,}09}{0{,}15 \times 0{,}204 + 0{,}06 \times 5} = 0{,}037.$$

При учете коэффициента надежности по нагрузке мы уже достигаем предельно допустимой деформации (5%). Причем, определяющим является второе слагаемое (модуль деформации грунта засыпки пазух) знаменателя, которое в 10 раз превышает влияние кольцевой жесткости трубы. Т.е. жесткость трубы повышать не обязательно, достаточно лишь тщательно уплотнять грунт в пазухах траншеи. На практике же малейшее местное разуплотнение грунта приведет к значительной овализации труб, а с-но снижению пропускной способности трубопровода.

Так в 2012 г. в г.Минске при приемке канализационных коллекторов диаметром 400, 500 и 630 мм выполненных из гофрированных полиэтиленовых труб (тип «Корсис») на многих участках была выявлена овализация поперечного сечения труб от 7% до 12%. При этом протяженность коллекторов составляла несколько километров. Следует указать, что высота засыпки трубопроводов в местах с недопустимой овализацией составляла 4-4,5 м. При этом были применены трубы с кольцевой жесткостью S_n8 (кПа). Степень уплотнения грунта в пазухах траншеи составляла 0,93-0,95 (при проектной 0,95). Нагрузка на трубопроводы от транспортных средств отсутствовала.

Хотя несущая способность данных трубопроводов (с учетом стабилизации бокового отпора грунта) пока обеспечена, однако их пропускная способность не соответствует проектной. На рисунке 2 представлена фотография фрагмента самотечного канализационного коллектора, выполненного из полиэтиленовых труб «Корсис» с овализацией поперечного сечения .

Рис.2. Внешний вид фрагмента труб «Корсис» после овализации

Как правило, производители труб дают рекомендации по выбору класса кольцевой жесткости в зависимости от их положения и глубины заложения. Так, в «Инструкции…» ЗАО «ТЕХСТТРОЙ»[4] приведены рекомендации для подбора класса жесткости (SN) гофрированных труб с двухслойной стенкой

(таблица 1). При этом указывается, что в каждом конкретном случае рекомендуется произвести расчет статической прочности трубопровода, учитывающий фактические инженерно-геологические условия их укладки.

Таблица 1

Пересечение с пешеходными дорожками	Пересечение с проездами для легкового автотранспорта	Пересечение с дорогами для грузового автотранспорта	
		глубина залегания от 1,5 до 3,0 м	глубина залегания от 3,0 до 4,5 м
SN 4	SN 4 - 6	SN 8	SN 12

Что касается величины модуля деформаций грунта засыпки в пазухах траншеи, то в «Инструккции …» [4] предлагается принимать его значения с учетом высоты засыпки Н над верхом трубы. Так, при засыпке пазух траншеи песчаным грунтом величины $\boldsymbol{E_{гр}}$ рекомендуется принимать по таблице 2 с учетом применяемого способа уплотнения. Как видно, из табл.2 максимальное значение модуля деформаций грунта засыпки $\boldsymbol{E_{гр}}$ принимается равным 3 МПа при контролируемом механическом уплотнении и при высоте засыпки Н = 6 м, а при высоте засыпки 1 м $\boldsymbol{E_{гр}}$ = 1,5 МПа.

Таблица 2.

Высота засыпки Н, м	$\boldsymbol{E_{гр}}$, МПа		
	Без уплотнения	Ручное уплотнение	Механическое уплотнение
1,0	0,5	1,2	1,5
2,0	0,5	1,3	1,8
3,0	0,6	1,5	2,1
4,0	0,7	1,7	2,4
5,0	0,8	1,9	2,7
6,0	1,0	2,1	3,0

Таким образом, при проектировании безнапорных трубопроводов из полимерных труб модуль деформаций грунта засыпки $\boldsymbol{E_{гр}}$ следует назначать исходя из опыта строительства или принимать минимальные величины, указанные (с учетом вида грунта и степени его уплотнения).

Следует указать, что степень уплотнения грунта засыпки в пазухах траншеи влияет и на несущую способность железобетонных труб. Но это влияние не превышает 30%. При этом местные разуплотнения (до1 м по длине трубы) практически не оказывают влияния на несущую способность труб. Не следует забывать, что все виды полимерных материалов подвержены старения, при этом их прочностные и деформационные характеристики снижаются. В тоже время железобетон, при нормальных условиях эксплуатации и отсутствии агрессивных воздействий сохраняет свои прочностные

Основной причиной начала широкого применения полимерных труб (взамен железобетонных) при строительстве самотечных канализационных коллекторов стал выход из строя железобетонных труб вследствие коррозионного поражения их свода. Согласно ISO/TR 10358 [5], что полимеры (ПНД, ПВХ, ПП) химически стойки в большинстве агрессивных сред и их применение в канализационных коллекторах, с точки зрения коррозионной стойкости, оправдано. Однако часто возникает другая проблема – всплытие

(или нарушение уклонов) трубопроводов при высоком уровне грунтовых вод. Данное явление вызвано тем, что в ночное время коллектор практически пуст, а так же небольшим собственным весом полимерных труб.

Что касается износостойкости труб, то, как уже отмечалось ранее, требования по стойкости к гидроабразивному износу к безнапорным трубам не предъявляются, что обусловлено ограничениями по скорости движения стоков. Так, согласно СП [3]максимальная скорость хозфекальных стоков не должна превышать 4 м/с, а дождевых – 7 м/с. В тоже время данная проблема присуща дождевым коллекторам, которые (особенно в последние годы) весьма часто работают «с подпором», при этом скорости сточных вод могут составлять 10 м/с и более. В этом случае может наблюдаться гидроабразивный износ лотка коллектора.

Таким образом, с точки зрения эксплуатационной надежности и пригодность к нормальной эксплуатации не один из рассмотренных выше видов труб не может гарантировать обеспечения данных требований с учетом инженерно-геологических факторов размещения и различных условий эксплуатации самотечных канализационных коллекторов.

БЕТОННЫЕ ТРУБЫ С ЗАЩИТНОЙ ФУТЕРОВКОЙ ИЗ ПНД

В последнее время при строительстве самотечных канализационных коллекторов начали применять железобетонные безнапорные трубы с защитной футеровкой, выполненной из полиэтилена низкого давления (ПНД). Футеровка устанавливается (как несъемная опалубка) во внутренней полости трубы и предназначена для защиты бетона от т.н. «газовой» коррозии. При этом футеровка обеспечивает и повышение пропускной способности трубопровода, вследствие более низкого коэффициента шереховатости. При проектировании труб, защитная футеровка не учитывается в расчетах несущей способности труб (рассматривается только как протектор) . Т.е. изменение физико-механических характеристик материала футеровки не влияет на несущую способность труб (прочность и трещиностойкость).

Расчет железобетонных труб на прочность и трещиностойкость производится по недеформируемой схеме, т.е. трубы рассматриваются как «абсолютно жесткие». Такой подход, как правило применяют и для труб из других материалов, при условие если расчетные значения деформации поперечного сечения не превышают 3%.

Разработаны рабочие чертежи и технические условия на производство бетонных и железобетонных безнапорных труб с внутренней защитной футеровкой. Футеровочные чехлы изготавливают из листового полиэтилена (ПНД) толщиной 3-4 мм, снабженного дискретными анкерными элементами (шипами типа V-LOCK), обеспечивающими их надежное закрепление в бетоне стенки трубы. Трубы диаметром от 600 мм до 1600 мм изготавливаются методом вибропрессования с использованием жестких бетонных смесей, обеспечивающим выполнение немедленной распалубки. При этом достигается так же существенное уменьшение количества форм (один сердечник и одна наружная форма) и снижение затрат на тепловлажностную разработку бетона, что в совокупности обеспечивает снижение стоимости труб в сравне-

нии с традиционными технологиями, например, центрифугирование или виброформование. Внешний вид футеровочного чехла, одетого (шипами наружу) на стальной сердечник формы представлен на фото (см. рис.3). На рисунке 4-5 представлено фото строительства самотечного хозфекального коллектора диаметром 1600 мм и 2400 мм. В трубах диаметром 2400 мм установлены закладные анкеры, предназначенные для перемещения и монтажа труб. Для герметизации стыковых соединений труб используются резиновые манжеты клинового типа обеспечивающие восприятие внутреннего (или внешнего) гидростатического давления не менее 0,05 МПа.

Тубы запроектированы пяти групп по несущей способности (с максимальной глубиной заложения до 12 м) диаметром от 800 до 2400 мм. При этом данные трубы обладают высокой коррозионной стойкостью и износостойкостью и в случае износа или старения футеровки снижения несущей и пропускной способности труб не происходит. Толщина футеровки составляет 4 мм, что соизмеримо с толщиной внутреннего слоя труб типа «КОРСИС».

Рис.3 Внешний вид футеровочного чехла на сердечнике формы

Рис.4. Строительство хозфекального коллектора диаметром 1600 мм.

Рис. Монтаж бетонных труб диаметром 2400 мм

Следует указать, что внутренняя футеровка бетонных труб практически «самоокупаема» (т.к. увеличение стоимости труб компенсируется повышением их пропускной способности). При этом трубы могут укладываться с меньшими уклонами, что позволяет снизить объемы земляных работ и увеличить площадь самотечной сети водоотведения, в т.ч. уменьшить количество канализационных насосных станций (КНС).

Таким образом, бетонные трубы с внутренней футеровкой из ПНД в сравнении с трубами из пластмасс (в равных условиях укладки) имеют большую водопропускную способность, т.к. не подвержены овализации. Безнапорные трубопроводы из бетонных труб не подвержены всплытию, тогда как для предотвращения всплытия пластмассовых трубопроводов должны выполняться дополнительные мероприятия (устраиваются пригрузы).

С учетом коррозионной стойкости и стойкости к гидроабразивному износу бетонные трубы с футеровкой из ПНД (толщиной 3-4 мм), обладают достаточной эксплуатационной надежностью и долговечностью. Таким образом, преимущества бетонных труб с защитной футеровкой очевидны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Для строительства самотечных коллекторов дождевой и хозфекальной канализации рекомендуется применять бетонные и железобетонные трубы диаметром 300 мм и более достоинством которых является:

- геометрическая неизменяемость и устойчивость к внешним нагрузкам (пять групп по несущей способности);
- местная и общая устойчивость в составе трубопровода (не подверженность к всплытию в сравнении с трубами из пластмасс и стеклопластика.
- эксплуатационную надежность и долговечность трубопроводов (не подверженность старению).

2. Для коллекторов хозфекальной канализации диаметром 600 мм и более рекомендуется применять железобетонные трубы с внутренней футеровкой из (ПНД). Футеровка внутренней полости труб обеспечивает их коррозионную стойкость (до 100 лет), а так же повышает (на 22%-25%) их пропускную способность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.

1. СНиП 2.03.04-85 Канализация. Наружные сети и сооружения/ Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.
2. СН 550-82 Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб. М., Госстрой СССР. – 1983.
3. СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. –
4. Инструкция для проектирования и монтажа наружных сетей водоотведения из гофрированных труб ТЕХСТРОЙ^{R} с двухслойной стенкой. – ЗАО «ТЕХСТРОЙ», 2013. – 123 с.
5. ISO/TR 10358 Plastics pipes and fittings. Combined chemical-resistance classification table. – Geneve, 1993. – 48 s.